

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2001296484 A**

(43) Date of publication of application: **26.10.01**

(51) Int. Cl.

G02B 26/08
H04Q 3/52

(21) Application number: **2000110808**

(22) Date of filing: **12.04.00**

(71) Applicant: **MITSUBISHI ELECTRIC CORP**

(72) Inventor:
YAMADA KOICHI
FUJITA ATSUSHI
TSUTSUMI KAZUHIKO
MATSUURA TSUKASA

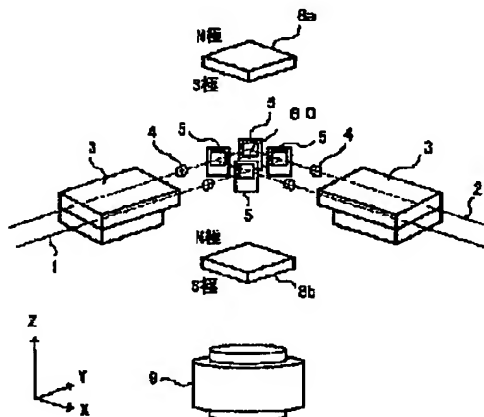
(54) **OPTICAL SWITCH AND METHOD FOR SWITCHING OPTICAL SWITCH**

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make an optical switch for switching lines among a plurality of optical signal terminals smaller than a conventional one in an optical communication network, an optical switching system or the like.

SOLUTION: The direction in which a mirror moves when switching an optical path is made perpendicular to a surface where fibers are placed in the two directions. When switching the mirror by combining electromagnetic force and electrostatic force, a mirror not moved by the electrostatic force affecting an individual mirror is selected, and then moved by the electromagnetic force affecting the whole mirror line. The position state of the mirror is detected by detecting the capacity between electrodes by using electrodes for generating the electrostatic force.



2 : 光ファイバー
3 : 多芯V溝基板
4 : 電極

8a, 8b : 永久磁石
8 : 電磁石
80 : ミラー行列

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-296484
(P2001-296484A)

(43) 公開日 平成13年10月26日 (2001. 10. 26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 2 B 26/08		G 0 2 B 26/08	E 2 H 0 4 1
H 0 4 Q 3/52		H 0 4 Q 3/52	B 5 K 0 6 9

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-110808(P2000-110808)

(22) 出願日 平成12年4月12日 (2000. 4. 12)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 山田 康一

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72) 発明者 藤田 淳

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(74) 代理人 100102439

弁理士 宮田 金雄 (外1名)

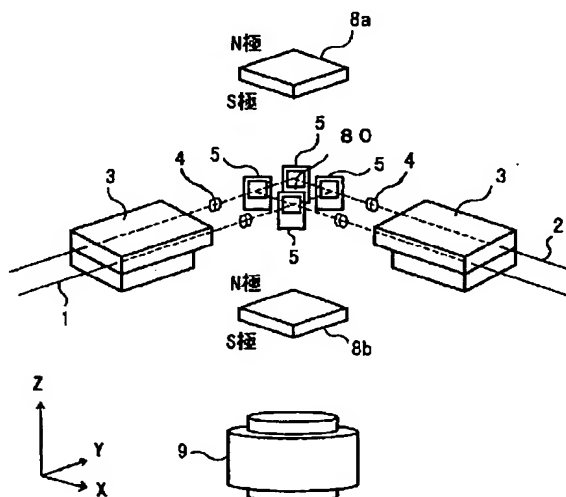
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光スイッチ及び光スイッチの切り替え方法

(57) 【要約】

【課題】 光通信網や光交換システムなどにおいて、複数の光信号端子間の回線切り替えを行う光スイッチを従来に比べて小さくすることを目的とする。

【解決手段】 1. 光路切り替え時のミラーの動く方向を2方向のファイバーが配置された面に垂直な方向にした。2. ミラーの切り替えを電磁力と静電力の組み合わせで行う際、個々のミラーにかかる静電力により動かさないミラーを選択し、ミラー列全体にかかる電磁力により動かすようにした。3. 静電力を発生するための電極を利用し、電極間の容量を検出することによりミラーの位置状態を検出可能にした。



2: 光ファイバー
3: 多芯V溝基板
4: レンズ

8a, 8b: 永久磁石
9: 電磁石
80: ミラー行列

【特許請求の範囲】

【請求項1】 M個の入射光路とN個の出射光路および光路を変更させる駆動機構からなる光スイッチにおいて、ミラーと光通過孔が一体で形成された可動部と、可動部を支持するバネと、駆動力を発生する電磁石と、可動部を保持する力を発生する永久磁石と、各可動部分に設けられた透磁体と、移動したい可動部を選択するための保持力を発生させる各可動部に設けられた電極からなる駆動機構を有し、各入射光路および出射光路は光ファイバーとレンズからなり、所定の入射光路から入った光がすべての出射光路へ光路変更が可能ないようにマトリックス状に配置され、選択したミラーのみが光路中に配置されその他の光路には光通過孔が配置されることにより光路の選択を行うことを特徴とする光スイッチ。

【請求項2】 磁性体を可動部それぞれに形成し一対の永久磁石をM×N個のマトリックス状に配置されたミラー行列の上下に配置しさらに上下の永久磁石およびミラー行列を挟み込むようにC型電磁石を配置したことを特徴とする請求項1記載の光スイッチ。

【請求項3】 可動部の周囲に設けられた固定電極と可動部に設けられた移動電極とが可動部の上下にそれぞれ互いに対抗するように配置され、さらに対抗する電極面間の距離が永久磁石により可動部が固着されているときに接触するように配置されたことを特徴とする請求項1記載の光スイッチ。

【請求項4】 可動部、可動部を支持するバネ部、可動部分を選択するための少なくとも一対の固定電極と移動電極をガラス基板と接合したシリコンウエハからエッチングにより一体で形成し、シリコンウエハ面と平行になるようにミラー反射面を設け、上記ガラス基板と接合したシリコンウエハから切り出した1次元のミラー列のミラーが入射光路の光を出射光路へ導くように立てて配置しさらに複数のミラー列を並べてマトリックス状に配置されたミラー行列を構成することを特徴とする請求項1記載の光スイッチ。

【請求項5】 少なくとも一対の固定電極と移動電極は可動部とバネと同一のシリコン基板から形成し、少なくとも一対の固定電極と移動電極の互いに対抗する面には絶縁膜を形成することを特徴とする請求項3記載の光スイッチ。

【請求項6】 絶縁膜をシリコンの熱酸化膜により形成したことを特徴とする請求項5記載の光スイッチ。

【請求項7】 ミラーと光通過孔とバネからなる可動部の厚みと、移動電極と固定電極の厚みの合計がシリコン基板の板厚に等しいことを特徴とする請求項5記載の光スイッチ。

【請求項8】 少なくとも一対の固定電極と移動電極間にパルス電圧を印加した時の電流をモニターすることにより光路上にミラーが存在するか否かを検出する手段を有することを特徴とする請求項1記載の光スイッチ。

【請求項9】 光路を切り替える前に点順次方式でミラーが光路上に存在するか否かを検出する手段を備えたことを特徴とする請求項8記載の光スイッチ。

【請求項10】 切り替えるチャンネルに対応する入力ライン上で光通過孔が全ての光路上に来るように移動し、次に、切り替えるチャンネルに対応する出力ラインとの交差点にのみミラーが移動するように光路を切り替えることを特徴とする請求項1記載の光スイッチの切り替え方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、光通信網や光交換システムなどにおいて、複数の光信号端子間の回線切り替えを行う光スイッチ及び光リスイッチの切り替え方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年の高度情報化・マルチメディア化に対応して、大量の情報の伝達が可能で光通信の要求が高まっている。このような光通信ネットワークにおける信頼性向上のための故障時における回線切替や加入者間の回線切替のために小型・高速・高信頼性を有する光スイッチが必要になってきており、活発な開発が行われている。

【0003】図15は特開平5-113543号公報に示された従来の光スイッチを表す構成図である。スイッチ基板60には入力光ガイド溝61と出力光ガイド溝62が形成され、それぞれの入力光ガイド溝61には入力光ファイバ63、64、65がそれぞれの出力光ガイド溝62には出力光ファイバ66、67、68がそれぞれレンズ69に光学的に接続された状態で装着されている。入力光ガイド溝61と出力光ガイド溝62の各差点には、可動反射装置とその可動反射装置を移動させるアクチュエータが形成されている。ここでは、可動反射装置として可動ミラー70が、またアクチュエータとしてその可動ミラー70をスイッチ基板60の表面に平行に移動させるリニアアクチュエータ71及びセル回路（図示せず）が形成されている。可動ミラー70のミラー面は、入力光ガイド溝61を通して入射した光ビームを出力光ガイド溝62の方向に反射させる角度に設定されている。

【0004】この構成では、光ビームを直進させるとき、可動ミラー70は入出力ガイド溝61、62から外れた位置の収納溝72に格納されているが、所定の差点を示すアドレス信号がインターフェース回路を通して与えられると、当該差点のリニアアクチュエータ71が駆動され、可動ミラー70が出力光ガイド溝62の差点（入力光ファイバ63と出力光ファイバ67の交差点）の中に移動挿入され、光路が変更される。この従来例では、静電誘導形リニアアクチュエータが使用されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来の光スイッチは以上のように構成されているので、ミラーを駆動させるための機構部分がミラーの大きさよりも面積を占めており、入射光ファイバー数M本、出射光ファイバー数N本の数を大きくしていくと全体の面積が大きくなるため光ファイバーを出た光が空中を伝播する距離が長くなりビームの広がりによる損失が大きくなる。また、ミラーを支えるスイッチ基板の溝幅とミラー厚さには動かすためのクリアランスが存在しミラーを挿入したときの姿勢にばらつきが発生し反射角度の誤差となるため光スイッチとしての挿入損失特性の再現性が悪くなる。さらにこの発明のような光スイッチは光路の切り替えの頻度が少なく、ほとんどの時間は片側に固定されている。そのため静電型アクチュエータを使用していると常に高電圧の印加が必要であるなどの問題点があった。

【0006】この発明は上記従来の課題を解決するためになされたものであって、挿入損失が小さく、かつコンパクトな光スイッチ及び光スイッチの切り替え方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】この発明の第1の構成による光スイッチは、ミラーと光通過孔が一体で形成された可動部と、可動部を支持するバネと、駆動力を発生する電磁石と、可動部を保持する力を発生する永久磁石と、各可動部分に設けられた透磁体と、移動したい可動部を選択するための保持力を発生させる各可動部に設けられた電極からなる駆動機構を有し、各入射光路および出射光路は光ファイバーとレンズからなり、所定の入射光路から入った光がすべての出射光路へ光路変更が可能

のようにマトリックス状に配置され、選択したミラーのみが光路中に配置されその他の光路には光通過孔が配置されたものである。

【0008】また、この発明の第2構成による光スイッチは、この発明の第1の構成において、磁性体を可動部それぞれに形成し一対の永久磁石をM×N個のマトリックス状に配置されたミラー行列の上下に配置し、さらに上下の永久磁石およびミラー行列を挟み込むようにC型電磁石を配置したものである。

【0009】また、この発明の第2構成による光スイッチは、この発明の第1の構成において、磁性体を可動部それぞれに形成し一対の永久磁石をM×N個のマトリックス状に配置されたミラー行列の上下に配置し、さらに上下の永久磁石およびミラー行列を挟み込むようにC型電磁石を配置したものである。

【0010】また、この発明の第3の構成による光スイッチは、この発明の第1の構成において、可動部の周囲に設けられた固定電極と可動部に設けられた移動電極とが可動部の上下にそれぞれ互いに対抗するように配置され、さらに対抗する面間の距離が永久磁石により可動部

が固着されているときに接触するように配置したものである。

【0011】また、この発明の第4構成による光スイッチは、この発明の第1の構成において、可動部、可動部を支持するバネ部、可動部分を選択するための少なくとも一対の固定電極と移動電極をガラス基板と接合したシリコンウエハからエッチングにより一体で形成し、シリコンウエハ面と平行になるようにミラー反射面を設け、上記ガラス基板と接合したシリコンウエハから切り出した1次元のミラー列のミラーが入射光路の光を出射光路へ導くように立てて配置しさらに複数のミラー列を並べてマトリックス状に配置されたミラー行列を構成したものである。

【0012】また、この発明の第5の構成による光スイッチは、この発明の第3の構成において、少なくとも一対の固定電極と移動電極は可動部とバネと同一のシリコン基板から形成し、少なくとも一対の固定電極と移動電極の互いに対抗する面には絶縁膜を形成したものである。

【0013】また、この発明の第6の構成による光スイッチは、この発明の第5の構成における絶縁膜をシリコンの熱酸化膜により形成するものである。

【0014】また、この発明の第7の構成による光スイッチは、この発明の第5の構成において、ミラーと光通過孔とバネからなる可動部の厚みと、移動電極と固定電極の厚みの合計をシリコン基板の板厚に等しくするものである。

【0015】また、この発明の第8の構成による光スイッチは、この発明の第1の構成において、少なくとも一対の固定電極と移動電極間にパルス電圧を印加した時の電流をモニタすることで光路上にミラーが存在するか否かを検出する手段を設けるものである。

【0016】また、この発明の第9の構成による光スイッチは、この発明の第8の構成において、経路を切り替える前に点順次方式でミラーが光路上に存在するか否かを検出する手段を動作させるものである。

【0017】また、この発明の第10の構成による光スイッチの切り替え方法は、この発明の第1の構成において、切り替えるチャンネルに対応する入力ライン上で光通過孔が全ての光路上に来るように移動し、次に、切り替えるチャンネルに対応する出力ラインとの交差点にのみミラーが移動するように経路を切り替えるものである。

【0018】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 図1は、この発明の実施の形態1に係わる光スイッチの全体を表す斜視図であり、図2は駆動機構の一部を示す2次元と3次元の構成図であり、各構成部品の位置関係を示している。図1、2において、1はM本(M=2)の光ファイバの入射光路、2はN本(N=2)の光ファイバの出射光路、3

は光ファイバを固定する多芯V溝基板、4はファイバから出た光を平行ビームにするレンズ、5は交差する光路の交点に配置されたミラー移動部、6はミラー移動部を支持するガラスベース、7はガラスベース6に設けた孔、8は光路上にミラー(後述)がマトリックス状に配置されたミラー行列の上下に配置された永久磁石、9はミラー駆動のきっかけを作る電磁石である。11、12、13、14a、14bはミラー移動部5に設けられたそれぞれ光通過孔、ミラー、磁性体、移動電極であり、10はミラー移動部5を支持するバネである。16a、16bはミラー移動部5の周囲に位置するようにガラスベース6に固着された固定電極である。入射側光ファイバ1で導かれた光は光ファイバ1を出射した後レンズ4により平行ビームに変換されミラー行列80に入っていく。光を直進させる場合は光路からミラー12を下側にずらし、可動部15の光通過孔11により光を通過させる。反射させる場合は、ミラー12を光路の交点に配置する。4個(M×N個)のミラー12のうち大部分のミラー12は下へ移動した状態にあり選択された交点のみのミラー12が光路上に配置されている。

【0019】入射光路と出射光路の交点に配置されたミラー12は図2(a)に示す一対のバネ10により支持されている。また、ミラー移動部5はバネ10で支えられた光通過孔11とミラー12と磁性体13と静電力発生のための移動電極14a、14bを設けた可動部15と固定電極16a、16bからなる。光通過孔11とミラー12と一対の磁性体13が可動部15の表面上に一体形成されている。移動電極14a、14bは可動部のZ軸方向の両端において、XY平面に一体形成されている。一対のバネ10はZ軸方向の剛性がX、Y軸方向のそれよりも小さくなるように設定され各々一端がガラスベース6に固定され他端が移動電極14a、14bに固定されている。可動部15とガラスベース6は分離されている。可動部15と一対のバネ10とはYZ面に対称になるように配置されている。固定電極16bはガラスベース6に固定されており、可動部15がZ軸のマイナス方向に移動した時、光通過孔11が光路上に位置し、下側の移動電極14bが固定電極16bと面接触するように配置されている。一方、固定電極16aはガラスベース6に固定されており、可動部15がZ軸のプラス方向に移動した時ミラー12が光路上に位置し、上側の移動電極14aが固定電極16aと面接触するように配置されている。この固定電極16a、16bにより、可動部15を位置決めしている。一対の磁性体13はZ軸方向に磁化されやすいように細長く形成されると共にその長さは概略可動部15のZ軸方向の移動量に等しくしている。なお、移動電極14a、14bと面接触する固定電極16a、16bの各表面には両電極間を電気的に絶縁するため、例えばSiO₂で形成された絶縁膜を設けている。図2に示すように、可動部15、バネ1

0、固定電極16a、16b、可動電極14a、14bを精度よく形成するために写真製版技術により一体形成した。ガラスベース6は1つのミラー移動部5が支持されている部分を示している。ガラスベース6には可動部15とはほぼ同じ面積の孔7が設けられている。光ファイバ1、2の先端に配置されたレンズ4は入射光が4個のミラー12のうちどのミラー12で反射されても、レンズ間における結合損失がほぼ同じになるように周知の手法による光学設計がなされている。ミラー12の各辺の長さはレンズ4で決まる平行ビームの直径より大きく設定されている。また、光通過孔11、孔7は平行ビームが入射光路側から入射しても、出射光路側から入射しても光ビームの通過を妨げないよう充分大きな空間として構成されている。

【0020】図3は、この発明の実施の形態1に係わる光スイッチの可動部15を示す構成図であり、可動部15の周囲に設けられた固定電極16a、16bと可動部15に設けられた移動電極14a、14bとが可動部15の上下にそれぞれ互いに対抗するように配置され、さらに対抗する電極面間の距離が永久磁石により可動部15が固着されているときに面接触するように配置されている。

【0021】選択するミラー12を切り替える時の動作を図3により説明する。(a)に示すように、選択されたミラー12は可動部15に固定された磁性体13が永久磁石8aの磁力によりZ軸のプラス方向に引っ張られ固定され、そのとき可動部15に設けた上側の移動電極14aは上側の固定電極16aに面接触している。このように、ミラー12が固定された状態をラッチと呼ぶ。

(b)に示すように、このミラー12の選択を解除しZ軸のマイナス方向へ移動させる動作は次のとおりである。電磁石9に電流を流し上側の永久磁石8aの磁力を弱める。磁性体13に作用する磁力よりバネの反発力が勝り、可動部15は下側へ動き出す。磁性体13が永久磁石の磁場の中立点を超えると下側の永久磁石8bの磁力と電磁石9の磁力の合成力で下側へ移動し、電磁石9の電流を切っても下側の永久磁石8bにより固定される。このとき電磁石9、下側の永久磁石8bの磁力はミラー行列80全体に加わるため、この動作を行うと上側に位置するミラー12はすべて下側へ移動してしまうことになる。これを防ぎ選択したミラー12のみを移動させるために、この発明では静電力によるミラー12の選択を行う。各可動部15には移動電極14a、14bが上端と下端に設けられておりそれと対向する位置に固定電極16a、16bがガラスベース6に設けられている。ミラー12が上側にあるとき移動電極14aと固定電極16a間に電圧を印加し静電力により互いに引き合う力が発生し上述した下側へ移動させる動作を行っても静電力により引っ張られているため上側の位置に保持される。したがって、上側に保持したいミラー12のみ電

極 14a、16a 間に電圧をかけておくことにより所望のミラー 12 をそのまま保持することが可能になる。同じように下側にあるミラー 12 を上側に移動させるには電磁石 9 に流す電流の向きを反対にすることにより逆方向の磁力を発生させることができ同様の動作で上側へ移動させることができる。また、下側に保持したいミラー 12 には上側の場合と同様に電極 14b、16b 間に電圧を印加することにより所望のミラー 12 を下側に保持することができる。この構成によれば、マトリックス状に配置した 4 個 (M×N 個) のミラーを個別に制御して切り替えることができる自己保持機能を有する光スイッチを得ることができる。

【0022】実施の形態 2. 図 4 は、この発明の実施の形態 2 に係わる光スイッチの全体を示す 3 次元の構成図であり、実施の形態 1 に記載した 2 入力 2 出力の光スイッチの各可動部 15、4 個のマトリックス状に配置されたミラー行列 80 の上下に配置された上下の永久磁石 8a、8b およびミラー行列 80 を挟み込むように C 型電磁石 9A の磁極 A、B を配置した。これにより永久磁石からの磁力によって可動部 15 を固着し保持できるようになるとともにスイッチを切り替えるときのみ C 型電磁石 9A に通電し永久磁石から発生する磁場を調整することにより可動部を動かすことが可能になる。C 型電磁石 9A を用いた磁気回路を閉ループとしたことにより、小電流で必要な磁場を発生させることができ、低消費電力化、小型化を実現できる。

【0023】実施の形態 3. 図 5 は、この発明の実施の形態 3 に係わる可動部の製造プロセスを示す工程図であり、光スイッチのミラー 12 をマトリックス状に配列する構成方法を示している。以下、加工プロセスを説明する。各工程の説明 (1) ~ (7) は図 5 の工程 (1) ~ (7) に対応している。各プロセス図は図 2 の (a) に記載された AA 断面を矢印方向から見た形態を示し、この形態に従って説明する。

(1) 熱酸化膜 25 付のシリコン基板 20 にガラス基板 21 を陽極接合することにより複合基板 28 を形成する。接合するガラス基板 21 が図 2 の (a) に示すパネ 10 と可動部 15 に固着しないように予めガラス基板 21 に逃げ 23 を設けておく。(ガラス基板 21 と接合するシリコン基板 20 の表面に 0.5 μm 程度の熱酸化膜があってもよい。)

(2) 熱酸化膜 25 上にレジスト 24 を全面に塗布した後、ミラー 12 と光通過孔 11 及び磁性体 13 からなる可動部 15、可動部 15 を支持するパネ 10、可動部 15 を選択するための移動電極 14a、14b (図示せず)、固定電極 16a、16b (図示せず) を形成するために熱酸化膜 25 付きシリコン基板 20 にレジスト 24 にパターンを形成する。各部材は図 2 の (a) に示すとおりである。

(3) 上記レジスト 24 のパターンをマスクにして R I

E (Reactive Ion Etching) で熱酸化膜 25 に転写し、アッシングによりレジスト 24 のパターンマスクを除去する。

(4) 熱酸化膜 25 のパターンをマスクにして ICP (Inductive Coupled Plasma) ドライエッチングでシリコン基板 20 を異方性良く加工面が略垂直になるようにエッチングする。

(5) 静電力を発生させる移動電極 14a、14b (図示せず) および固定電極 16a、16b (図示せず) の電極面に絶縁膜 26 を形成し、シリコン基板 20 の表面に付着した絶縁膜 26 をミリングにより除去する。この時ガラス基板 21 に付着した絶縁膜 26 は若干残るが可動部 15 の動作に影響を与えることはない。絶縁膜 26 は例えばパネ 10 をレジスト 24 で保護してからプラズマ CVD により SiNx を成膜し、シリコン基板 20 の表面のみをエッチングし、図 6 に示すように固定電極、移動電極 14a、14b、16a、16b の表面にのみ絶縁膜 26 を形成してもよい。

(6) 可動部 15 に駆動力とラッチする力を受ける磁性体 13 をマスキングパターにより形成する (例えば、Ni 80 at%、Fe 20 at%)。

(7) 複合基板 28 を良く洗浄した後、ミラー 12 となる金属 (例えば、金) をマスキングパターにより形成する。以上の工程により、ミラー 12、光通過孔 11、磁性体 13、可動部 15、パネ 10、移動電極 14a、14b、固定電極 16a、16b からなるミラー移動部 5 を図 7 の (a) に示すようにマトリックス状に一括形成する。

【0024】上記複合基板 28 を 1 次元のミラー列になるように切り出しアレー基板 29 を形成し、光路を確保するためにガラスベース 6 に設けられた孔 7 を連結する溝 47 を機械加工により切除した。図 7 (b) に示すミラー 12 が入射光路の光を出射光路へ導くようにガラス基板 21 と同程度の熱膨張係数をもつガラス基板 30 に立てて配置し、図 8 に示すようにさらに複数のミラー列を並べてミラー 12 がマトリックス状に配置されるようにした。入射光路 31 と出射光路 32 の交差点が各ミラー 12 の表面に位置するように配置され、光路間隔 d の場合、一次元ミラー列のミラーピッチ P を $\sqrt{2} \cdot d$ となるようにし、アレー基板 29 の厚み方向のミラー間隔 W を $(\sqrt{2}/2) \cdot d$ とした。なお、本実施の形態では入射光路 1 と出射光路 2 のなす角 α を 90 度とし、ミラー 12 とに入射光路 1 とのなす角 β を 45 度に設定しているが、これらの角度に限定されるものではない。

【0025】実施の形態 4. この発明の第 4 の構成による光スイッチは、上記絶縁膜をシリコンの熱酸化法により形成することで均一な膜厚の絶縁膜を形成した。以下加工プロセスを図 9 により説明する。工程 (1) ~

(4) は実施の形態 3 と同一であるので説明は省略し、工程 (5) ~ (7) について説明する。また、パネ 10

も実施の形態3と同一構成であるため図示を省略する。図5の工程説明(5)、(6)、(7)と図9の(5)、(6)、(7)に示す工程とが対応する。

(5) ICPドライエッチングで穴明けしたシリコン基板のシリコン露出面に熱酸化膜27を形成する。

(6) 可動部15に駆動力とラッチ力を受ける磁性体13をマスクスパッタにより形成する。

(7) 複合基板28を良く洗浄した後、ミラー12となる金属をマスクスパッタにより形成する。以後のアレー基板29を作成しミラー列を並べてミラーをマトリックス状に配置するミラーマトリックス組立工程は実施の形態3と同じである。

【0026】実施の形態5。図10は、この発明の実施の形態5に係わる可動部の製造プロセスを示す工程図であり、各プロセスは図2の(a)におけるBB断面を矢印方向からみた形態を示し、この形態に従い説明する。ミラー12と光通過孔11と磁性体13からなる可動部15の裏側に移動電極14a、14b、固定電極16a、16bを形成し、可動部15と移動電極14a、14b、固定電極16a、16bの厚みの合計がシリコン基板20の板厚に等しくすることにより、移動電極14a、14b、固定電極16a、16bを精度良く加工することができ、安定した静電力を発生させることができる。以下加工プロセスを図10により説明する。

(1) シリコン基板20に移動電極14a、14b、固定電極16a、16bを形成するためのパターンを熱酸化膜付きシリコン基板20に写真製版でレジスト24にパターンを形成する。

(2) 上記パターンをRIEで熱酸化膜25に転写する。

(3) ICPドライエッチングでシリコン基板20を異方性良く加工面が略垂直になるようにエッチングする。

(4) レジスト24を除去した後RIEで移動電極と固定電極の形成面のみ熱酸化膜25を除去する。

(5) 平面部の保護膜40例えばSiNxを成膜する。

(6) シリコンの熱酸化法により移動電極14a、14b、固定電極16a、16bの電極面に熱酸化膜27を形成する。

(7) RIEで平面部の保護膜40を除去する。

(8) シリコン基板20とガラス基板21を陽極接合することにより複合基板28を形成する。以下移動電極14a、14b、可動部15、固定電極16a、16bの位置が合うように、実施の形態3の工程(2)～(7)と同一の工程で可動部15、パネ10、移動電極14a、14b、固定電極16a、16bを複合基板28のシリコン基板20表面より加工する。その後のミラーマトリックスの組立工程も実施の形態3と同一である。

【0027】実施の形態6。図11は、この発明の実施の形態6に係る可動部15の位置を検出する構成を示す概念図である。光スイッチの可動部15の位置を検出する

る可動部位置検出回路41はパルス電圧を発生する周知の電源42と過渡的に流れる電流を検出する電圧計43とこの電圧計43に対し並列に接続された微小抵抗44とを、光スイッチの移動電極14a—固定電極16aと移動電極14b—固定電極16bのそれぞれを結線する回路に設けたものである。可動部15の位置検出は、パルス電圧を発生する電源42により矩形波状のパルス電圧を印加し、光スイッチの移動電極14a—固定電極16a、移動電極14b—固定電極16b間の電流を電圧計43によりモニタすることにより行う。電流が流れた固定電極側に可動部15が位置していることが分かる。

【0028】実施の形態7。図12は、この発明の実施の形態7に係わる可動部位置を検出するマトリックス配線を示す回路図であり、光スイッチはミラー12を動かして光路を切り替える前に光通過孔11側の移動電極14a、固定電極16a間の電流を点順次方式により図11で説明した方法でモニタし、光路上にミラー12が存在するか否かを検出する概略配線図である。一方、図13は光路上に光通過孔11が存在するか否かを検出する概略配線図である。小判形状の点線で囲われた2個の容量45、46が1つのミラー移動部5に存在する。可動部の移動電極14aと対向する固定電極16aとの間の容量45と、可動部の移動電極14bと対向する固定電極16bとの間の容量46とからなる。容量45はは可動部15が上にラッチされている状態(ミラー12が光路上にある。)に対応し、容量46はその逆で可動部15が下側にラッチしている状態(光通過孔11が光路上にある。)に対応する。入射光側アドレスデコーダ回路51では入射光アドレス信号に対応するi行の配線をアクティブにし、一方、出射光側アドレスデコーダ回路50では出射光アドレス信号に対応するj列の配線をアクティブにすることでi列j列の位置にある可動部15のラッチ状態を容量45に対して検出することができる。アドレス信号を順次送っていくことにより各可動部15のミラー12が光路上に存在するか否かを検出する。次に、移動電極14bと対向する固定電極16bとの間の容量46に対して同様の検出を行うことにより、光通過孔11が光路上に存在するか否かを検出する。ミラー12側、光通過孔11側の双方の電極間電流をモニタできるように配線してあるので、上下の電極間の電流値を照合することにより検出精度が上げられる。

【0029】実施の形態8。図14は、この発明の実施の形態8に係わる光スイッチの駆動制御を表すフロー図である。図に示すように、外部からの切替信号により以下の流れでスイッチのミラー12の切替を行う。

a. 切替要請を受ける。

b. 切り替え後の各ミラー12の位置を示す切替チャンネル情報を記憶する。

c. 可動位置検出回路41により、現在の各可動部15の位置を検出する。

d. 各入力ライン（入射光側アドレス、i 行）で切替要請されている出射光位置と現在の出力ライン（出射光位置）（出射光側アドレス、j 列）が一致するか否かを全てのミラーについて調べる。

e. 入力ライン毎に現在の切替チャンネル位置と切替要請チャンネルが一致している時、そのアドレスを記憶する。

f. 全ての入力ラインについて調べる。

g. 各入力ライン（入射光側アドレス、i 行）で切替要請ラインと現在の出力ラインが一致する場合、移動電極 14 a、固定電極 16 a に電位を印加しておく。各入力ライン（入射光側アドレス、i 列）で切替要請ラインと現在の出力ラインが異なる場合、どこかの移動電極 14 a、固定電極 16 a にも電位を印加しない。

h. 光軸上に可動部の光通過孔がくる方向の磁界を強めるように電磁石にパルス電流を流し、変更の必要な入力ライン上の可動部 15 のみ光路を開放しておく。

i. 変更が必要な切替入力ラインに対応する出力ラインとの交点における可動部 15 以外の可動部の移動電極 14 b、固定電極 16 b に電位を印加しておく。変更が必要でない入力ラインでは現在の光路上にミラー 12 のない可動部 15 の対向する移動電極 14 b と固定電極 16 b に電位を印加しておく。

j. 光軸上に可動部 15 のミラーがくる方向に磁界を弱めるように電磁石 8 a、8 b にパルス電流を流し、上記 i. で移動電極 14 b、固定電極 16 b に電位を印加していない可動部 15 のみを移動させることにより光路上にミラー 12 を移動させる。

a~h の動作により切り替えるチャンネルに対応する入力ライン上で光通過孔 11 が全ての光路上にくるように移動させることができる。必要最小限のミラー移動で光スイッチを切り替えることができ、切り替える必要のないチャンネルに影響を及ぼすことはない。なお、実施の形態では 2×2 のミラー行列について説明したが、これに限らず M×N のミラー行列が本発明の対象である。なお、この実施の形態では各入力ラインについて可動部位置検出を行っているが、これに限らず現在の可動部位置の状態をメモリに保持させておくことにより、可動部位置検出を省略することができる。

【0030】

【発明の効果】以上のように、この発明の第 1 の構成である光スイッチによれば、ミラーと光通過孔が一体で形成された可動部と、可動部を支持するバネと、駆動力を発生する電磁石と、可動部を保持する力を発生する永久磁石と、各可動部分に設けられた透磁体と、移動したい可動部を選択するための保持力を発生させる各可動部に設けられた電極からなる駆動機構を有し、各入射光路および出射光路は光ファイバーとレンズからなり、所定の入射光路から入った光がすべての出射光路へ光路変更が可能ないようにマトリックス状に配置され、光路の選択は

選択したミラーのみが光路中に配置されその他の光路には光通過孔が配置されることにより、従来必要であったミラー駆動部のためのスペースが光路面上にないためミラー間の距離を大幅に狭めることが可能となり配列するミラーの数が大きくなっても挿入損失を小さくすることができる。

【0031】また、この発明の第 2 の構成である光スイッチによれば、磁性体を可動部それぞれに形成し一対の永久磁石を M×N 個のマトリックス状に配置されたミラー行列の上下に配置し、さらに上下の永久磁石およびミラー行列を挟み込むように C 型電磁石を配置したことにより、光路の保持が無電源で可能となり駆動時のみのわずかな電力で光路変更をすることができる。

【0032】また、この発明の第 3 の構成である光スイッチによれば、可動部の周囲に設けられた固定電極と可動部に設けられた移動電極とが可動部の上下にそれぞれ互いに対抗するように配置さし、さらに対抗する電極面間の距離が永久磁石により可動部が固着されているときに接触するように配置されたことにより、簡単な構造でスイッチ切り替えの選択が可能となり、駆動機構としての電磁力発生機構を光スイッチ全体で 1 個にすることが可能になった。

【0033】また、この発明の第 4 の構成である光スイッチによれば、可動部、可動部を支持するバネ部、可動部を選択するための少なくとも一対の固定電極と移動電極をガラス基板と接合したシリコンウエハからエッチングにより一体で形成し、シリコンウエハ面と平行になるようにミラー反射面を設け、上記ガラス基板と接合したシリコンウエハから切り出した 1 次元のミラー列のミラーが入射光路の光を出射光路へ導くように立てて配置しさらに複数のミラー列を並べてマトリックス状に配置されたミラー行列を構成することにより、半導体プロセスと同様のプロセスで作製できるため高精度でばらつきの少ないミラー列を得ることが可能となり各光路間の挿入損失のばらつきを抑えることができる。

【0034】また、この発明の第 5 の構成である光スイッチによれば、少なくとも一対の固定電極と移動電極は可動部、バネと同じシリコンで形成し少なくとも一対の固定電極と移動電極の互いに対抗する面には絶縁膜を形成することにより、安定した大きさの静電力を発生することができる。

【0035】また、この発明の第 6 の構成である光スイッチによれば、絶縁膜をシリコンの熱酸化膜により形成することにより、均一な膜厚の絶縁膜が形成でき安定した大きさの静電力を発生することができる。

【0036】また、この発明の第 7 の構成である光スイッチによれば、ミラーと光通過孔とバネからなる可動部の厚みと対向する電極の厚みの合計をシリコン基板の板厚に等しくすることにより、対向電極の精度良く加工することができ、安定した静電力を発生させることができ

る。

【0037】また、この発明の第8の構成である光スイッチによれば、可動部と少なくとも一対の移動電極と固定電極間にパルス電圧を印加した時の電流をモニタすることで光路上にミラーが存在するかどうかを検出する手段を設けることにより、ミラーの位置検知用の部材を追加することなくミラーの位置を常に検知することができる。

【0038】また、この発明の第9の構成である光スイッチによれば、光路を切り換える前に点順次方式で光路上にミラーが存在するかどうかを検出する手段を動作させることにより、現状のミラー位置を確認することができより正確な経路切り替えが可能になる。

【0039】また、この発明の第10の構成である光スイッチによれば、切り換えるチャンネルに対応する入力ライン上で光通過孔が全ての光路上に来るように移動し、次に、切り換えるチャンネルに対応する出力ラインと交差点にのみミラーが移動するように光路を切り換えることにより、低消費電力での光路切り替えが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係わる光スイッチの全体を表す斜視図と駆動機構を示す3次元の構成図である。

【図2】 この発明の実施の形態1に係わる光スイッチの可動部分を表す構成図である。

【図3】 この発明の実施の形態1に係わる光スイッチの可動部分を示す構成図である。

【図4】 この発明の実施の形態2に係わる光スイッチの全体を示す3次元の構成図である。

【図5】 この発明の実施の形態3に係わる可動部の製*

* 造プロセスを示す工程図である。

【図6】 この発明の実施の形態3に係わる対向電極を表す斜視図である。

【図7】 この発明の実施の形態3に係わる一体形成したミラーマトリックを表す斜視図である。

【図8】 この発明の実施の形態3に係わる光路とミラーの位置関係を表す平面構成図である。

【図9】 この発明の実施の形態4に係わる可動部の製造プロセスを示す工程図である。

10 【図10】 この発明の実施の形態5に係わる可動部の製造プロセスを示す工程図である。

【図11】 この発明の実施の形態6に係わる可動部位置を検出する回路を示す概念図である。

【図12】 この発明の実施の形態7に係わる可動部位置を検出するマトリックス配線を示す回路図である。

【図13】 この発明の実施の形態7に係わる可動部位置を検出するマトリックス配線を示す回路図である。

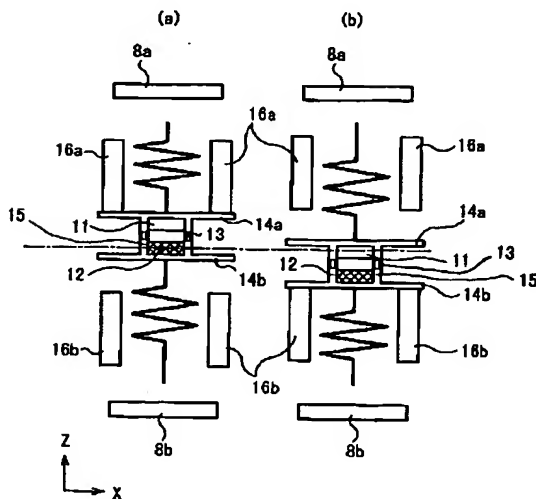
【図14】 この発明の実施の形態8に係わる光スイッチの駆動制御を表すフロー図である。

20 【図15】 従来の光スイッチを表す構成図である。

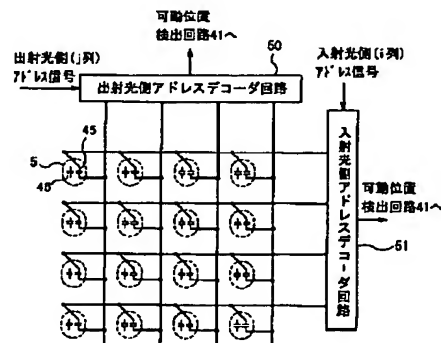
【符号の説明】

1 入射光路、2 出射光路、3 多芯V溝基板、4 レンズ、5 ミラー移動部、6 ガラスベース、7 孔、8 永久磁石、9 電磁石、10 パネ、11 光通過孔、12 ミラー、13 磁性体、14 a、14 b 移動電極、15 可動部、16 a、16 b 固定電極、20 シリコン基板、21 ガラス基板、24 レジスト、25、27 熱酸化膜、26 絶縁膜、28 複合基板、29 アレー基板、30 ガラス基板、31 入射光路、32 出射光路、40 保護膜。80、ミラー行列。

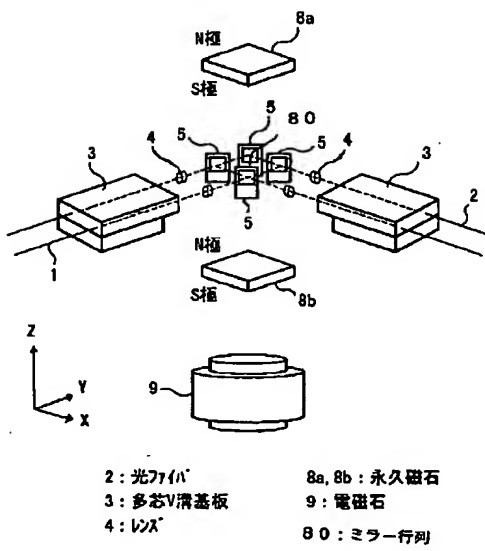
【図3】



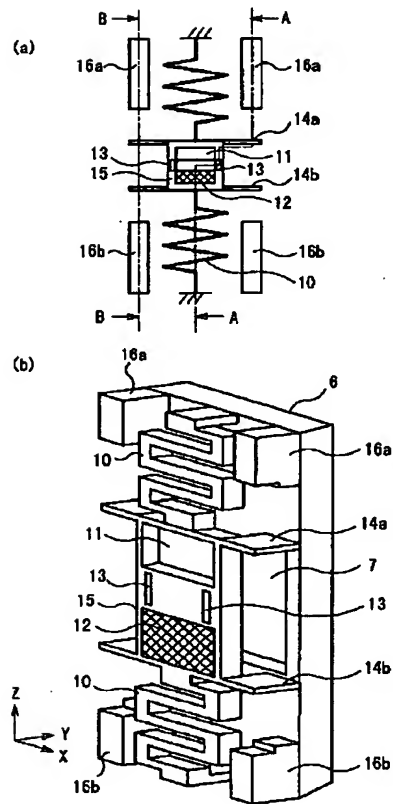
【図12】



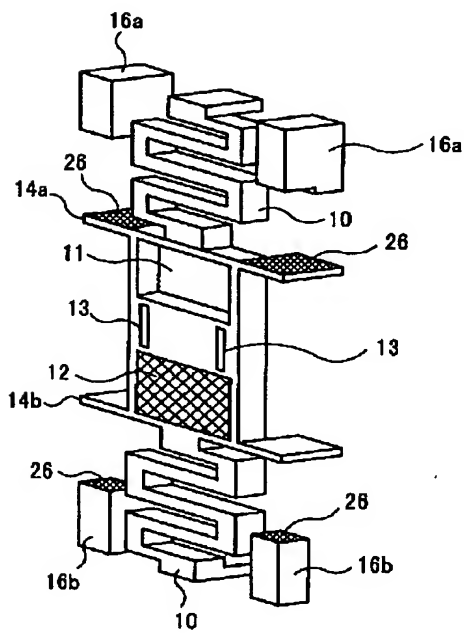
【図1】



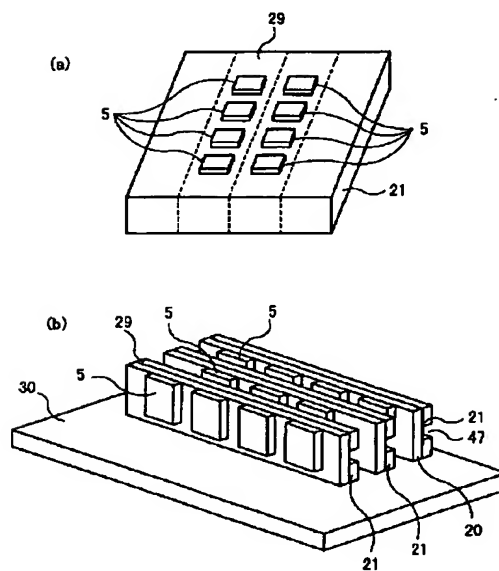
【図2】



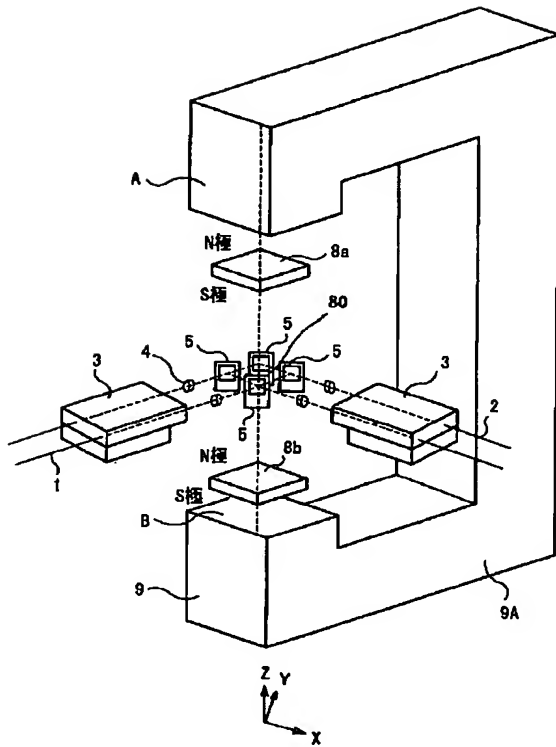
【図6】



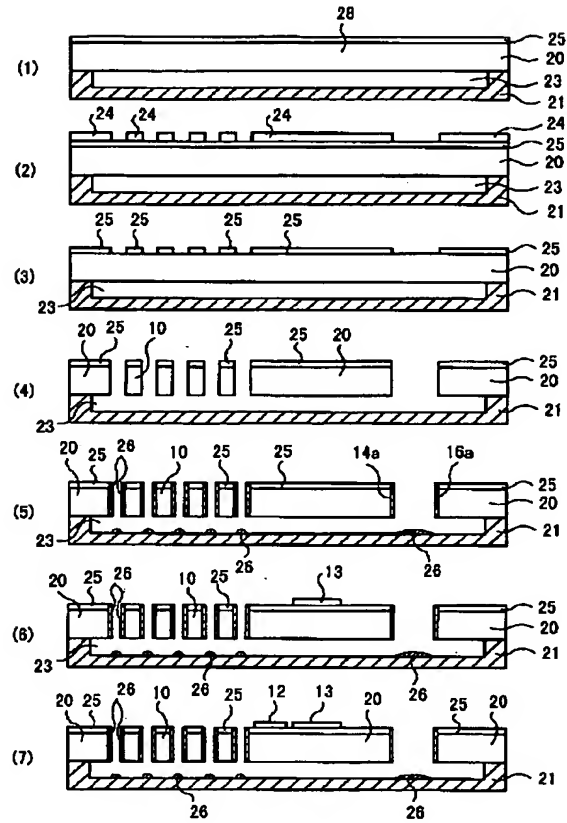
【図7】



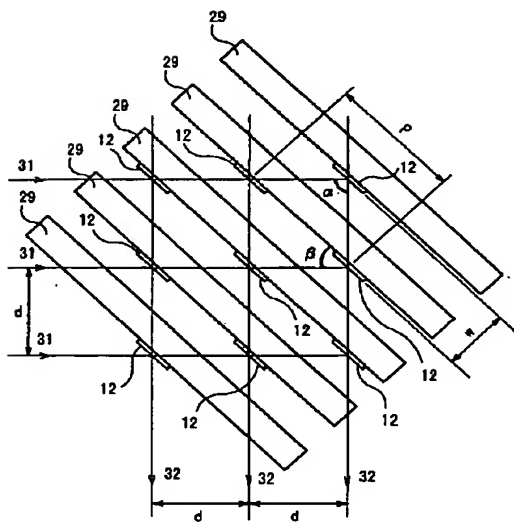
【図4】



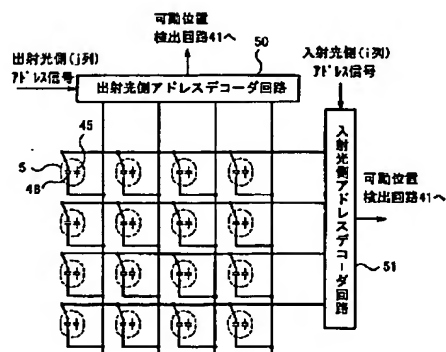
【図5】



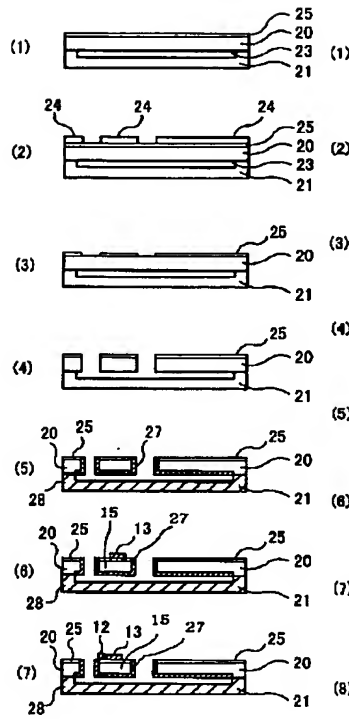
【図8】



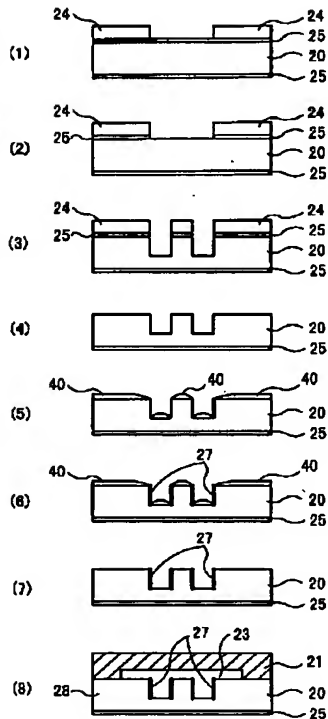
【図13】



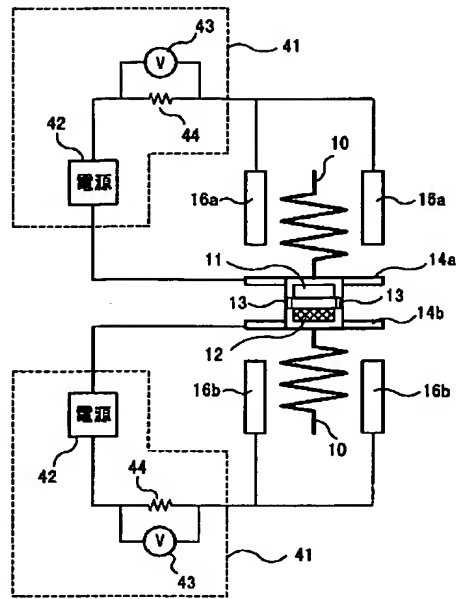
【図9】



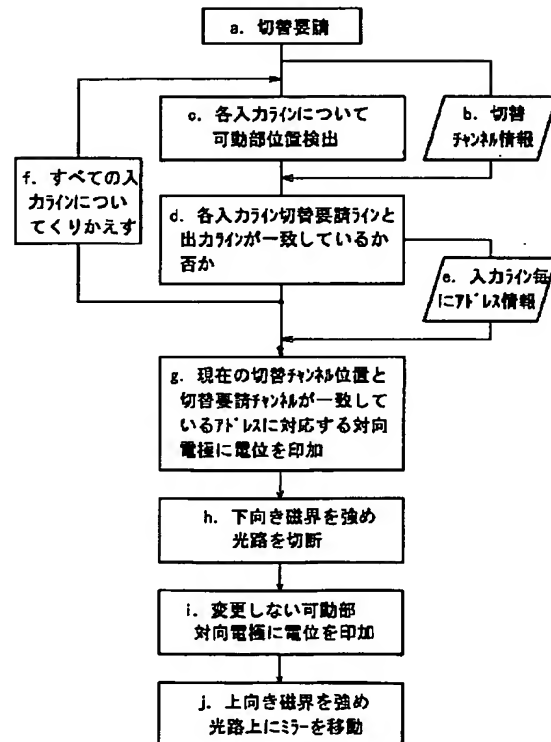
【図10】



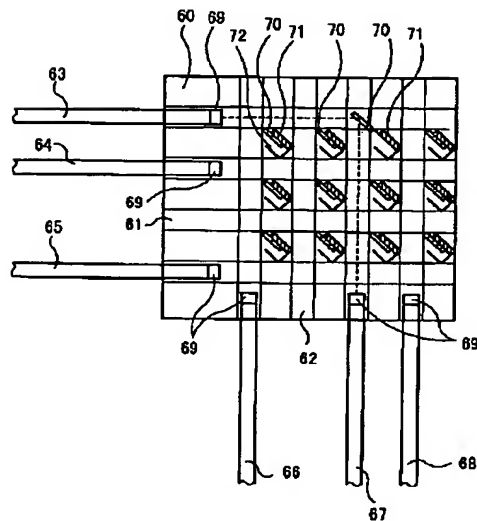
【図11】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(72)発明者 堤 和彦
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

(72)発明者 松浦 司
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
菱電機株式会社内

Fターム(参考) 2H041 AA16 AA18 AB13 AC04 AZ02
AZ05 AZ08
5K069 AA16 DB07 DB34 DC05 EA27
EA30

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.